

## KAJI EKSPERIMENTAL KINERJA TURBIN ANGIN VERTIKAL *MULTIBLADE* TIPE SUDU *CURVED PLATE PROFILE* DILENGKAPI RUMAH ROTOR DAN EKOR SEBAGAI PENGARAH ANGIN

**Yusuf Dewantoro Herlambang**

Program Studi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Semarang (POLINES)

Jl. Prof. Sudarto, SH Tembalang Semarang Fax.(024) 7472396

E-mail : [masyusufdh@yahoo.com](mailto:masyusufdh@yahoo.com), [yusufdh\\_ke@polines.ac.id](mailto:yusufdh_ke@polines.ac.id)

### Abstrak

*Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik tertentu dari model turbin vertikal multiblade dengan sudu curved plate profile terhadap unjukkerja turbin pada pembangkit listrik tenaga angin. Penelitian diawali dengan merancang dan membuat sebuah model Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) dengan tipe sudu curved plate profile berjumlah 6 buah sudu yang terbuat dari material galvalum yang dilengkapi dengan rumah rotor dan ekor sebagai pengarah angin, lengkap dengan instalasi pengujiannya. Tahap selanjutnya adalah uji karakteristik model. Pengujian dengan variabel uji yaitu kecepatan angin pada 12,6 m/s, 9,95 m/s, 8,5 m/s, 6,5 m/s, 6,12 m/s, 5,95 m/s. Parameter penelitian yang diukur adalah kecepatan angin sebagai variabel uji untuk menghitung daya input turbin serta daya keluaran yang dihasilkan oleh generator untuk menghitung daya output. Kinerja generator yang paling baik adalah yang menghasilkan daya keluaran paling tinggi. Hasil akhir pada tahap ini adalah efisiensi sistem yang paling optimum. Data hasil pengujian diolah untuk mendapatkan putaran turbin, putaran generator, tegangan generator, daya generator, dan daya kinetik. Hasil pengolahan kemudian disajikan dalam bentuk grafik karakteristik turbin meliputi karakteristik daya dan efisiensi. Spesifikasi turbin adalah diameter poros 25 mm, diameter rotor 600 mm, tinggi rotor 650 mm. Hasil uji menunjukkan putaran tertinggi turbin 290 rpm pada kecepatan angin 12,6 m/s, kecepatan putar turbin terendah pada 142 rpm pada kecepatan angin 5,95 m/s. Didapatkan efisiensi tertinggi sebesar 22,3 % pada kecepatan angin 6,12 m/s, putaran poros generator 244 rpm.*

**Kata kunci :** *curved plate, karakteristik, rumah rotor, turbin vertikal*

## PENDAHULUAN

Dengan semakin berkurangnya persediaan bahan bakar fosil khususnya di Pulau Jawa dan terbatasnya kekayaan alam yang lain maka tenaga angin saat ini menjadi pilihan sebagai sumber energi alternatif dan dalam rangka membantu penyediaan energi dunia. Angin merupakan salah satu sumber energi potensial yang kuantitasnya cukup banyak untuk daerah-daerah di Indonesia, tetapi belum banyak dimanfaatkan. Di Indonesia pemanfaatan energi angin masih lebih kecil dibandingkan dengan sumber daya alam yang lain seperti minyak, gas, air dan sebagainya (Hofman, 1987).

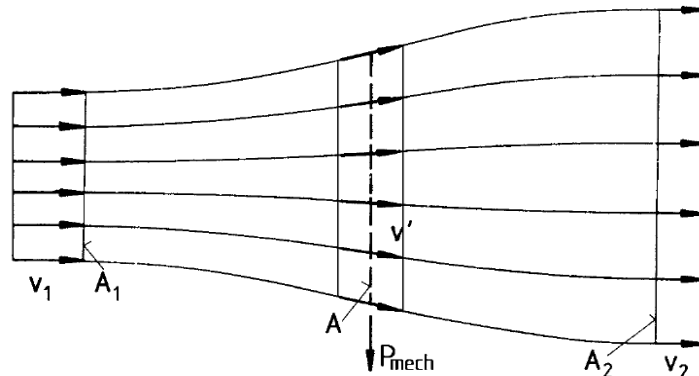
Sedangkan di Indonesia, 2/3 wilayahnya adalah perairan, di mana pada wilayah perairan terdapat potensi angin yang bertiup lebih stabil. Energi angin merupakan salah satu energi alternatif yang disediakan oleh alam yang dapat dimanfaatkan sebagai PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu), yaitu menggerakkan suatu alat untuk mengubah energi kinetik angin yang nantinya dapat dimanfaatkan sebagai penggerak generator, pompa air dan sebagainya. Rotor (sudu) pada turbin angin digunakan sebagai alat pengkonversi energi angin tersebut (Ariati, 2008).

Untuk itu dalam penelitian ini akan dikaji eksperimental pembuatan turbin angin skala mikro. Turbin angin yang berputar yang kemudian menggerakkan poros dengan transmisi belt (sabuk) yang menggerakkan poros generator. Generator akan merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja dari turbin angin VAWT dengan memanfaatkan angin yang berasal dari blower kemudian angin ditangkap oleh sudu-sudu turbin sehingga timbul energi mekanik yang berasal dari poros turbin selanjutnya dikonversikan menjadi energi listrik yang berasal dari generator. Energi kinetik dari massa udara  $m$  yang bergerak pada kecepatan  $v$  (De Renzo, 1979).

$$P_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \dot{m} \cdot v^2$$

Mengacu pada luas potongan melintang tertentu  $A$ , yang dilewati lintasan udara pada kecepatan  $v$ , volume  $V$  mengalir melewati unit waktu tertentu, dinamakan aliran volume (**volume flow**) dan laju aliran massa disebut  $\dot{m}$  adalah (Lysen, 1983).:

$$\dot{m} = \rho \cdot A_1 \cdot v_1$$



Gambar 1. Kondisi aliran karena pengeluaran energi mekanik dari arus bebas aliran udara, mengacu pada teori dasar momentum

Energi mekanik yang mana dikeluarkan dari disk-shaped konverter dari aliran udara berkaitan dengan perbedaan daya dari arus udara sebelum dan sesudah konverter :

$$P_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \rho \cdot A_1 \cdot v_1^3 - \frac{1}{2} \rho \cdot A_2 \cdot v_2^3 = \frac{1}{2} \rho (A_1 \cdot v_1^3 - A_2 \cdot v_2^3)$$

$v_1$  : kecepatan arus-bebas undelayed, kecepatan angin

$v_2$  : kecepatan aliran dibelakang konverter.

Persamaan kontinuitas yang diperlukan adalah:

$$\rho \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho \cdot A_2 \cdot v_2$$

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A_1 \cdot v_1^3 (v_1^2 - v_2^2)$$

Dengan :

$\rho$  : Massa jenis udara [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ]

$A$  : Luas sapuan angin [ $\text{m}^2$ ]

$v$  : Kecepatan angin [ $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ]

indeks 1 merupakan arah masuk

indeks 2 merupakan arah masuk

Daya akan dapat mencapai maksimum bila kecepatan  $v_2$  adalah nol. Akan tetapi, hasil ini tidak bisa dibuat secara fisik sebagaimana dapat diduga, secara fisik hasil berarti terdiri rasio kuantitatif (numerik) tertentu  $v_2/v_1$  dimana daya yang dapat dikeluarkan mencapai maksimum dengan  $v_2/v_1 = 16/27$  atau  $cp = 0,593$ .

Memakai hukum konservasi momentum, gaya yang dikeluarkan udara pada konverter dapat dinyatakan sebagai:

$$F = \dot{m} (v_1 - v_2)$$

Daya mekanik keluar/output dari konverter dapat dinyatakan sebagai :

$$P_m = 0,25 \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2)$$

Daya dari arus udara bebas/free-air stream (energi kinetik) adalah:

$$P_{kin} = \frac{1}{2} \rho \cdot A_1 \cdot v_1^3$$

Dari persamaan dapat diartikan sebagai berikut:

1. Daya angin adalah berbanding lurus terhadap massa jenis udara.
2. Daya angin adalah berbanding lurus dengan luas area sapuan dari rotor, hal ini berarti yang dihasilkan sebanding dengan kuadrat diameter rotor, sedangkan untuk rotor pada jenis turbin angin poros vertikal sebanding dengan luas proyeksi rotor turbin angin.
3. Daya angin berbanding lurus dengan pangkat tiga dari kecepatan angin, hal ini berarti bahwa pemilihan tempat baik akan sangat menentukan besarnya daya yang dihasilkan. Rasio antara daya mekanik yang dikeluarkan oleh konverter dan arus udara yang tidak terganggu (arus bebas) itu dinamakan “koefisien daya/ power coefficient” **C<sub>p</sub>**:

Koefisien daya dapat dinyatakan secara langsung sebagai fungsi rasio kecepatan,

$$C_p = \frac{P_m}{P_k} = \frac{1}{2} \left[ 1 - \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] \left[ 1 + \frac{v_2}{v_1} \right]$$

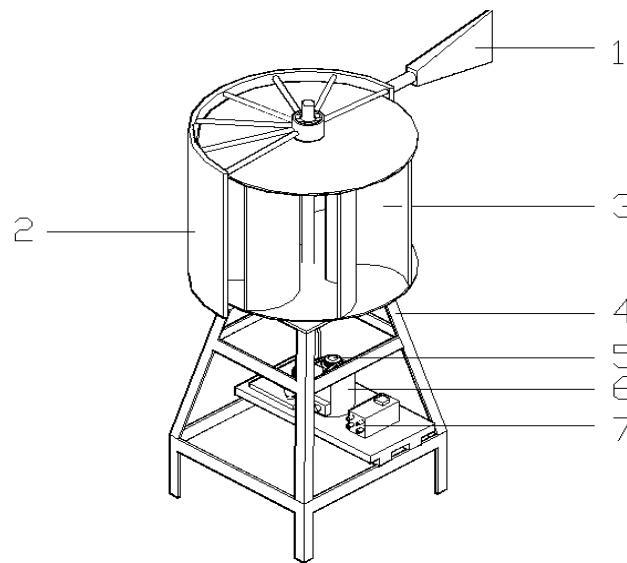
Koefisien daya, yaitu rasio daya mekanik yang dapat dikeluarkan dengan daya yang dikandung arus udara, oleh karena itu, sekarang hanya tergantung pada rasio kecepatan udara sebelum dan sesudah konverter.

## METODE PENELITIAN

Tahap awal penelitian adalah perancangan alat untuk memperoleh desain dan alternative yang terbaik. Perancangan ini meliputi rotor angin, (terdiri dari sudu-sudu turbin), poros, sistem transmisi, generator, dan beban. Sudu rotor yang akan dibuat berjumlah sudu 8 buah Sudu turbin dibuat dari pelat galvalum dengan tebal 2 mm. Tinggi rotor 650 mm dan diameternya 600 mm. Rotor turbin dilengkapi dengan sebuah poros pejal yang dibuat dari besi St 37 berdiameter 50 mm dengan pengerjaan bubut. Poros turbin ini melekat pada cakram pemegang sudu dan diperkokoh dengan menggunakan 2 buah bearing, yang berfungsi untuk menahan gaya aksial pada saat sudu berputar. Sudu turbin ini terpasang pada suatu cakram sebagai pemegang sudu akan digunakan mur dan baut ukuran M12. Puli berfungsi untuk meneruskan energi mekanik putaran poros turbin menuju ke generator. Puli ini terbuat dari bahan aluminium berdiameter 3 inci dan disesuaikan dengan sambungan puli pada generator listrik. Jenis puli yang digunakan adalah tipe v-belt dengan maksud agar tidak terjadi slip puli. Sabuk atau belt yang digunakan menyesuaikan bentuk alur dari puli, sabuk terbuat dari bahan karet campuran. Generator listrik, berfungsi untuk merubah energi mekanik putaran poros turbin menjadi energi listrik. Generator listrik yang akan digunakan adalah generator AC sinkron putaran 290 rpm pada tegangan 50 volt (pada beban nol). Panel papan kayu, berfungsi untuk merekam data dan hasil uji alat. Instalasi panel dibuat dari kayu lapis setebal 0,5 cm dengan lebar 50 x 30 cm. Papan panel dilengkapi dengan instalasi kabel dan pada papan kayu diberi lubang untuk rangkaian alat ukur Amperemeter, Voltmeter dan Beban yang berupa lampu bohlam. Lampu bohlam ditempatkan pada fitting yang berjumlah 15 buah @ 2,5 Watt, fitting juga dipasang pada papan kayu. Alat ukur, digunakan untuk mengukur parameter-parameter yang

diperlukan dalam pengujian yang meliputi anemometer untuk mengukur kecepatan angin, Torsi meter untuk mengukur torsi keluaran turbin, Tachometer untuk mengukur putaran poros turbin. Amperemeter untuk mengukur arus listrik keluaran generator, dan Voltmeter untuk mengukur tegangan listrik.

Tahap selanjutnya adalah uji karakteristik model. Dalam uji ini akan dilakukan pengujian turbin TASV dengan variabel uji kecepatan angin yaitu 12,6 m/s, 9,95 m/s, 8,5 m/s, 6,5 m/s, 6,12 m/s, 5,95 m/s. Uji dilakukan di laboratorium mesin-mesin fluida Program Studi Teknik` Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Polines menggunakan alat Blower yang menghasilkan kecepatan angin yang dapat diatur untuk menggerakkan rotor turbin HAWT. Parameter penelitian yang diukur adalah kecepatan angin (sebagai variabel uji) untuk menghitung daya input turbin serta daya yang dihasilkan oleh generator listrik untuk menghitung daya output generator. Kinerja generator yang paling baik adalah yang menghasilkan daya keluaran paling tinggi. Hasil akhir pada tahap ini adalah efisiensi system yang paling optimum.



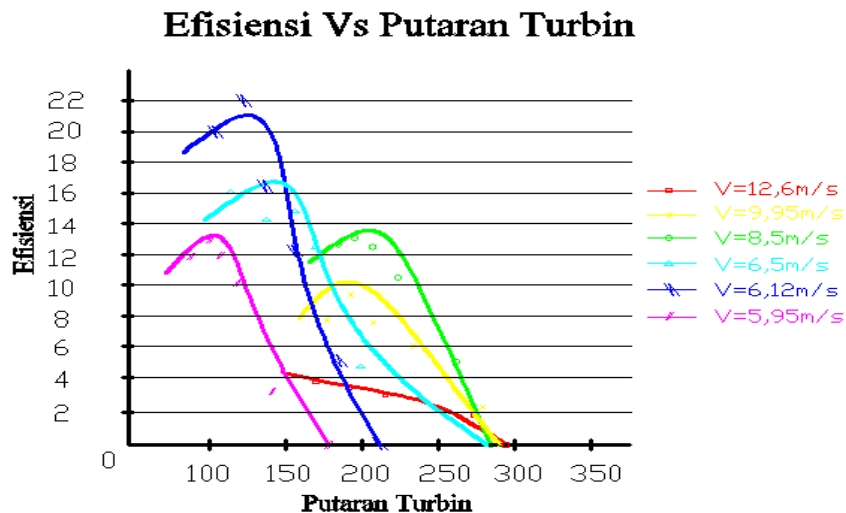
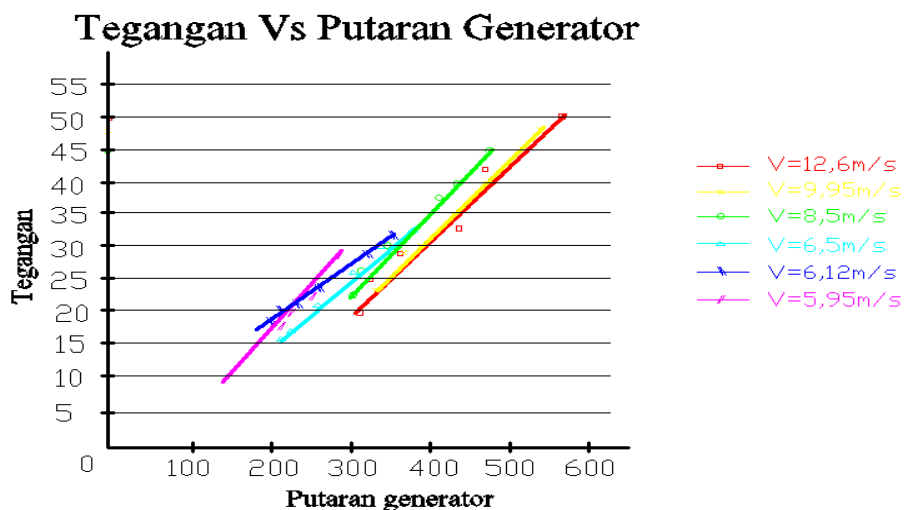
Gambar 2. Rancangan instalasi pengujian turbin angin TASV : (1) ekor pengarah angin; (2) rumah rotor; (3) sudu curved plate; (4) rangka alat; (5) transmisi gear/puli; (6) generator; (7) papan/panel beban

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji kinerja turbin angin vertikal multiblade *curved plate profile* dilakukan untuk mendapatkan karakteristik sistem turbin tersebut. Masing-masing karakteristik adalah efisiensi turbin, daya generator, dan tegangan listrik. Hasil uji eksperimental untuk mendapatkan karakteristik tertentu dari model turbin vertikal multiblade dengan sudu *curved plate profile* terhadap unjukkerja turbin pada pembangkit listrik tenaga angin seperti terlihat pada gambar 3, 4, dan 5.

Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan antara efisiensi turbin terhadap putaran turbin. Ada enam buah kurva berdasarkan input kecepatan angin yang berbeda, yaitu 12,6 m/s, 9,95 m/s, 8,5 m/s, 6,5 m/s, 6,12 m/s, dan 5,95 m/s. Keenam kurva memiliki kecenderungan yang sama yaitu efisiensi turbin meningkat seiring bertambahnya putaran turbin (rpm) hingga mencapai titik optimum, kemudian turun walaupun putaran turbin (rpm) bertambah, yang artinya kenaikan putaran turbin (rpm) sebanding dengan kenaikan efisiensi turbin. Dapat dikatakan juga, bahwa untuk input energy dan putaran yang sama, efisiensi dan daya yang dihasilkan turbin berubah.

Berdasarkan gambar 3 tersebut terlihat bahwa masing-masing kecepatan angin memiliki efisiensi turbin optimum yang berbeda. Pada kecepatan angin 6,12 m/s turbin memiliki efisiensi turbin tertinggi yaitu 22,3% diperoleh pada putaran turbin 148 rpm. Sedangkan efisiensi terendah yaitu 1,4% pada putaran 279 rpm, pada kecepatan angin 12,6 m/s.

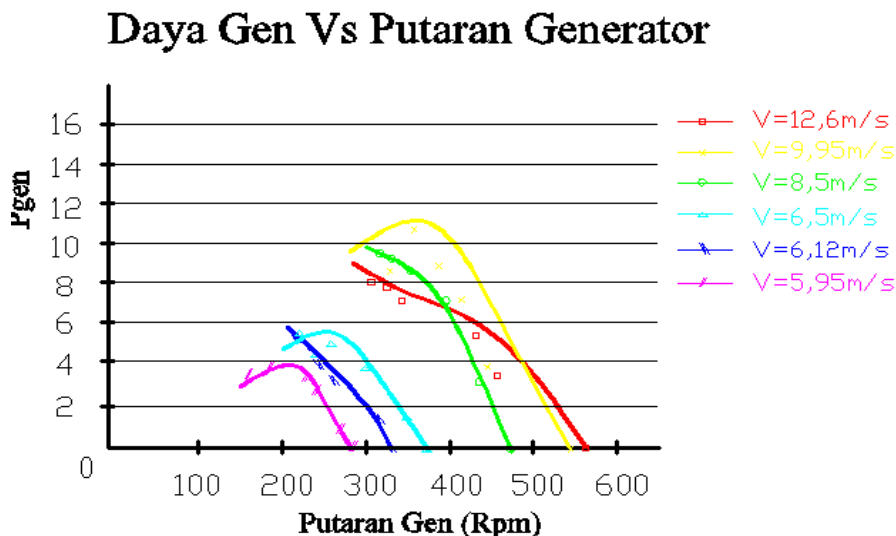
Gambar 3. Grafik hubungan efisiensi sistem ( $\eta_{sistem}$ ) VS putaran turbin(n)

Gambar 4. Grafik hubungan Tegangan Generator Vs Putaran Generator

Gambar diatas menunjukkan grafik hubungan antara putaran generator (rpm) dengan tegangan yang dihasilkan. Terdapat enam kurva yang membedakan setiap input kecepatan yaitu seperti yang terlihat pada kurva diatas. Keenam kurva memiliki kecenderungan yang sama yaitu tegangan listrik (volt) yang dihasilkan meningkat seiring dengan bertambahnya putaran generator (rpm) hingga mencapai titik maksimum, yang berarti bahwa kenaikan tegangan listrik (volt) yang dihasilkan turbin sebanding dengan kenaikan putaran generator (rpm). Turbin dengan input kecepatan 12,6 m/s diperoleh tegangan keluaran generator tertinggi sebesar 50 Volt pada putaran generator 567 rpm. Sedangkan tegangan keluaran generator terendah 11 Volt didapat pada putaran generator 170 rpm pada kecepatan angin 5,95 m/s.

Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan antara putaran generator (rpm) dengan daya generator (Watt). Berdasarkan input kecepatan angin yang berbeda, ada enam kurva. Keenam kurva memiliki kecenderungan yang sama yaitu daya generator (Watt) meningkat seiring dengan bertambahnya putaran generator (rpm) hingga mencapai titik optimum. Kemudian akan turun walaupun putaran generator (rpm) bertambah. Hal ini berarti kenaikan putaran generator (rpm) sebanding dengan kenaikan daya generator (Watt). Berdasarkan kurva pada gambar 5 tersebut terlihat bahwa masing-masing perbedaan input kecepatan angin memiliki daya generator optimum yang berbeda. Hasil input kecepatan angin 9,95 m/s didapatkan daya generator optimum 10,5 Watt

didapat pada putaran generator 369 rpm. Sedangkan daya generator terendah 0,88 Watt didapat pada putaran generator 278 rpm, pada kecepatan angin 5,95 m/s.



Gambar 5. Grafik hubungan Daya Generator Vs Putaran Generator

## KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian pada turbin angin VAWT, maka dapat disimpulkan spesifikasi turbin VAWT adalah sebagai berikut : Diameter Poros 25 mm, Diameter Rotor 600 mm, Tinggi Rotor 650 mm, Kec putar tercepat turbin 290 rpm pada kec angin 12,6 m/s, Kec putar terendah turbin 142 rpm pada kec angin 5,95 m/s. Spesifikasi Generator : Tegangan tertinggi 50 volt .pada 290 rpm (beban nol), Tegangan terendah 28 volt .pada 160 rpm (beban nol), Daya output 10,5 watt, Regulasi tegangan 60% pada 290 rpm. Berdasarkan hasil pengujian turbin angin VAWT, didapatkan efisiensi turbin tertinggi sebesar 22,3 % pada kecepatan angin 6,12 m/s, putaran poros generator 148 rpm. Pada tegangan keluaran 20 V, arus keluaran 0,29 A, energi kinetik 26 watt ,daya generator 5,8 watt. Efisiensi terendah adalah 1,4 % didapatkan pada kecepatan 12,6 m/s, dan putaran generator 463 rpm. Pada tegangan 42 V. Arus keluaran 0,08 A, energi kinetik 227,02 watt, daya generator 3,36 watt.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariati, R. 2008. *Pengembangan Desa Mandiri Energi (DME) Berbasis Energi Non Fosil*. [http://www.energi terbaru.net.](http://www.energi%20terbarukan.net), diakses 20 Agustus 2009
- AWEA. 2004. *The American Wind Energy Association*. <http://www.awea.org>. diakses tanggal 5 Oktober 2009
- BWEA. 2002. *The British Wind Energy Association*. <http://www.bwea.com>. diakses tanggal 6 Oktober 2009
- De Renzo. 1979. *Fundamentals of Wind Turbines*. Mc Graw-Hill Inc Publisher. New York. USA
- Dietzel, F. dan Dakso Sriyono. 1988. *Turbin, Pompa Dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.
- El Wakil, M. 1987. *Mesin Konversi Energi untuk Pembangkit Daya*. Jakarta. Erlangga
- Hartanto W. 2007. *Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Darrieus dengan Variasi Sudut Sudu untuk PLTAn*. Polines. Semarang
- Choiron M. 2007. *Unjukkerja Turbin Angin Nibe 3-Sudu Menggunakan Inverter untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin*. Polines. Semarang
- Hofman H dan Harun. 1987. *Energi Angin*. Penerbit Binacipta, Jakarta
- Lysen, EH. 1983. *Introduction to Wind Energy. 2nd Edition, Amersfoort, Netherlands, Consultancy Services Wind Energy Developing Countries*
- Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2002, *DasarPerencanaan & Pemilihan Elemen Mesin*, Pradnya Paramita, Jakarta